

クーロン斥力による超伝導

小形 正男 (物理学専攻)

E-mail:ogata@phys.s.u-tokyo.ac.jp

去年新聞紙上を賑わしたのは、新しい超伝導体 MgB_2 の発見であった。超伝導とは、低温で物質の電気抵抗が完全にゼロになるという量子力学的現象であり、固体物理学における様々な新しいアイデアが試される魅惑的な分野である。

一種類の元素からなる物質(単体)が超伝導体になるかどうかについては、詳しくわかっている。一方、2種類の元素からなる化合物については、組合せは 100×100 通りくらいあるとはいえ、すべて調べ尽くされていると考えられていた。

しかし去年日本人によって発見された MgB_2 という化合物は、よく知られた化合物である(しかも市販されている)にもかかわらず、今まで超伝導となることが知られていなかった。しかも超伝導に相転移する温度は非常に高く、高温超伝導の発見以前ならば一大センセーションとなったはずの発見なのである。

今後も、このような新しい超伝導体の発見は続くと思われる。実際 MgB_2 に限らず、ここ2-3年の間、新しい超伝導体が続々と発見されており、中には新しい概念の発展に結び付くような物質があると考えられ、現在活発に研究がされている。

その1つとして、 Sr_2RuO_4 という3元素化合物がある。我々の研究室では、その超伝導発生のミクロな理論について研究している。電子はフェルミ粒子の1つであり、量子力学的なスピン量子数を持つ。通常の超伝導体では、上向きスピンと下向きスピンの2つの電子がクーパー対という束縛状態を形成して超伝導状態となる。2つのフェルミ粒子が集まることにより、ボース粒子と同じ性質を持つようになり、その結果ボース・アインシュタイン凝縮という巨視的な量子力学的状態が実現すると考えられている。

これに対して、新しい Sr_2RuO_4 という超伝導体では、同じ向きのスピンを持つ2つの電子(厳密にいうと正しくはないが)がクーパー対を形成しているという珍しい超伝導体である。これは液体ヘリウム3の超流動状態に非常に近い。同じ向きのスピンを持つ電子は、同種粒子に対するパウリの排他律のために、同じ場所に存在することができない。それでもなおクーパー対という束縛状態を作るということを理解するためには、新しい理論が必要となってくる。我々は今までの超伝導理論での常識を打ち破るようなアイデアによって、この新しい超伝導状態が理解できるのではないかと考え、日夜計算に励んでいる。

固体内の電子の振るまい、とくに磁性・超伝導などを記述するためには、電子の運動エネルギーとともに、電子間の相互作用(主にクーロン斥力)を考慮の対象としなければならない。物質の磁性や超伝導を担うd電子は、原子に強く束縛されつつも原子から原子へと結晶内を遍歴する性質を持つ。

その上で、電子間の相互作用によって磁性や超伝導が生じると考えられている。

我々は、この物理的描像を最も単純化して表現するモデルを用いて超伝導現象を調べている。モデルは単純化されたものであっても、相互作用の強さ、電子の密度、結晶格子の形、空間次元などに依存して、さまざまな状態を記述できると考えられている。とくに Sr_2RuO_4 に関しては、電子の持つスピンによる磁性的な相互作用が働いて超伝導を引き起こす可能性を調べている。いろいろな場合について調べた結果、電子間のクーロン斥力によっても結晶の形や電子密度によっては超伝導が出現することを見出した。我々は Sr_2RuO_4 という特殊な物質に限らず、一般的な超伝導発現の原因の1つを探り当てたと考えている。

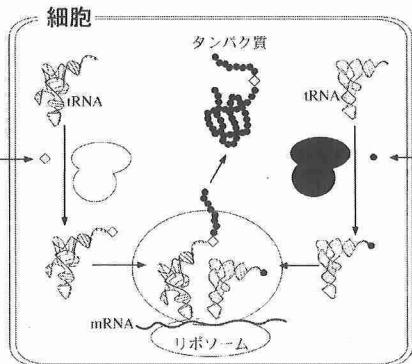
人工遺伝暗号

坂本 健作 (生物化学専攻)

E-mail:sakamoto@biochem.s.u-tokyo.ac.jp

分子生物学の最も基本的な要素は3つあります。DNAの二重らせん構造、セントラル・ドグマ(DNAからタンパク質へと遺伝情報が一方通行的に流れること)、そして普遍遺伝暗号です。遺伝暗号表は、遺伝情報を読み解く鍵になるもので、全ての生物で共通だと考えられていた時代があります(だから、“普遍”なのですが)。しかし、あまり大きなものではないけど、遺伝暗号表にもバリエーションがあることがわかって来ています。このことから、生命の基本要素である遺伝暗号表も変えることができると考えられました。生物の体を作っているアミノ酸の基本的なレパートリーは20種類ですが、これ以外の非天然型アミノ酸も遺伝暗号表に取り入れる研究が1989年以来行われています。最初は、細胞抽出液を使った実験でしたが、21世紀になって大腸菌や培養細胞を使った実験が成功しています。図にあるように、通常の生き物は20種類のアミノ酸を体外から取り込むと、アミノアシル tRNA 合成酵素の働きでアミノ酸を転移リボ核酸(tRNAと呼ぶ)に結合させます。tRNAはアミノ酸をリボソームに運んでいきます。リボソームはタンパク質の工場ですから、ここでアミノ酸はタンパク質に取り込まれます。まったく同じ仕組みを非天然型アミノ酸についても作ってやるだけで、生物はこのアミノ酸をタンパク質に取り込むことができるようになります。このとき tRNA や酵素の性質(基質特異性)を改変することが必要ですが、遺伝暗号表の変化の難しさはおもに tRNA や酵素の性質を変えることの難しさと一致することがわかってきました。遺伝暗号表にはどんな変化が可能なのか、反対に、どんな変化は無理なのかはこれからの研究でわかってくると思います。ところで、非天然型アミノ酸を取り込むようになったからといって、新しい生物が

できたと誤解しないで下さい。少し変わった遺伝暗号表を持つ生物も普通の生物と変わらないように、人工遺伝暗号表を持つ大腸菌も非天然型アミノ酸を利用できるという以外に変わった点はありません。むしろ、生物界における遺伝暗号のバリエーションを成立させている要因を理解し、できれば遺伝暗号表の成立、つまり、生命の起源の問題にアプローチしたいと願っています。



● 通常のアミノ酸 ● 通常のアミノ酸用のアミノアシルtRNA合成酵素
◇ 非天然型アミノ酸 ◇ 非天然型アミノ酸用のアミノアシルtRNA合成酵素

ショウジョウバエの肢はどの様に出来上がるのか？

小嶋 徹也 (生物化学専攻)

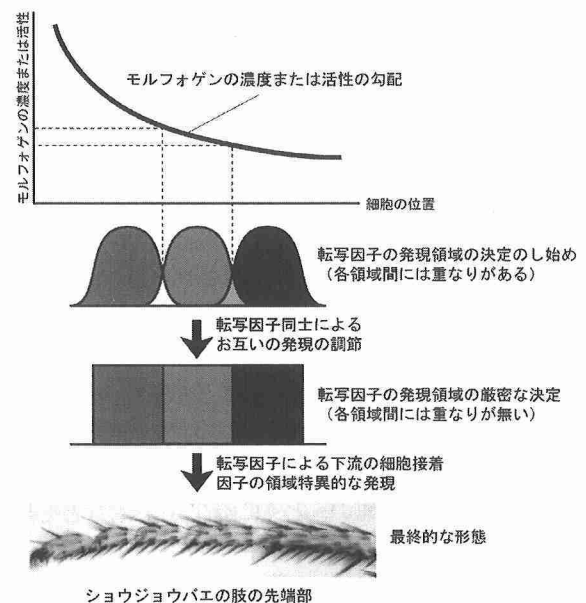
E-mail:skojima@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

高等多細胞生物の個体の発生過程において最も重要なプロセスの1つは、均一な細胞集団がそれぞれ性質の異なるいくつかの細胞集団に分割されていくことであり、この繰り返しにより、1つの受精卵が分裂して細胞数を増やしていく過程で、様々な組織や器官、そして各組織や器官内の細かい部分が形成されていきます。古くから、これはモルフォゲンと呼ばれる因子によって作られる位置情報を各細胞が読み取って、各細胞の位置に則して分化することによって考えられてきました。近年の分子生物学的な解析によって、モルフォゲンとして働く分泌性のタンパク質が同定され、このタンパク質の濃度勾配やそのタンパク質による細胞間情報伝達系の活性化の度合いの勾配に従って均一な細胞集団中に領域特異的な様々な転写因子（他の遺伝子の発現を調節するタンパク質でそれぞれの転写因子毎に制御する下流遺伝子が違う）の発現が誘導され、その下流遺伝子の発現制御を通して各細胞集団の性質が決定されていくという事が分かって来ました。しかし、具体的にどの様にモルフォゲンの形成する位置情報により特定の領域に正確に転写因子が発現するのか、その転写因子の発現によってどの様にして各領域の性質が決定されるのか、最終的な形態形成がどの様に起こるのか、といった問

題はまだほとんど解かれておらず、生物の個体（もしくはある組織や器官）がどの様に出来るのかといった事を遺伝子のレベルで完全に説明することは出来ていません。

私達は、ショウジョウバエの成虫肢の形成過程をモデルシステムとして、これらの問題にアプローチしていこうとしています。現在までに、モルフォゲンによって各転写因子の発現領域が決められる時には大体の場所しか決められておらず（各領域には始め重なりがある）、その後、各領域で発現する転写因子同士が自分自身およびお互いの発現を調節し合う事によって、各転写因子の発現領域が厳密に決定される事、この転写因子間の調節機構によってそれぞれの転写因子の発現が安定化されて、領域が決定された後は、その発現はモルフォゲンに依存しなくなる事（モルフォゲンの活性が変化しても転写因子の発現領域が変化しなくなる事）などが分かってきました。また、領域特異的に発現する転写因子によって発現が制御される遺伝子としては、いくつかの細胞接着因子（細胞間の接着性を調節するタンパク質）をコードする遺伝子が見つかってきており、それらの領域特異的な発現により領域特異的な細胞の形や細胞間の接着性の違い（一般に領域が違ったり性質が違ったりする細胞同士はそれらが同一の細胞同士よりも接着性が弱い）が制御されている事も分かってきています。

私達はこの様な研究を続ける事により、ショウジョウバエの成虫肢がいったいどの様に出来てくるのかを具体的に遺伝子のレベルで完全に説明できる様になることを目指しています。もしそれが出来れば、他の全ての生物種の様々な器官・組織の形成過程に対しても遺伝子レベルでの完全な説明が出来るようになるための、さらには生物がどの様に進化してきたのか、何が違うことで様々な生物の形態の多様性が存在するのかといった問題に対しても基礎を与えてくれるものとなると信じています。



ダストトレイルの地上観測に成功！

中田 好一（天文学教育研究センター）

E-mail:nakada@kiso.ioa.s.u-tokyo.ac.jp

理学系研究科付属天文学研究センター木曾観測所は長野県木曾の山の上にあり、口径 105 cm のシュミット望遠鏡を使って天体観測を行っています。そして、全国の大学や研究所から大勢の天文学者たちがこの望遠鏡を使いに来て、色々な研究テーマで観測をしています。今回は、それらの内から太陽系分野での新発見のお話をします。

昨年の秋のしし座流星群は近年にない見事なものでした。流星は、彗星から放出された塵が地球大気と衝突して摩擦熱のため高温となり光り輝く現象です。塵の多くは彗星の軌道に沿って分布（ダストトレイルと呼ばれます）するため、地球がその軌道をたまたま横切ると多数の塵が地球大気に飛び込みます。これが流星群と呼ばれる現象です。たとえばしし座流星群はテンペル・タトル彗星のダストトレイルが原因で生じます。

この塵はもとをたどれば彗星のかけらです。彗星は 50 億年前に地球や太陽系が作られた時の原始惑星雲から形成され、その時の記憶をそのまま留めている原始的な天体です。従って彗星のかけら、すなわち軌道上の塵には太陽系の形成を研究する上でとても貴重な情報が含まれています。この塵を直接観測することはできないでしょうか？

20 年前に打ち上げられた赤外天文衛星は、ダストトレイルが赤外線で見えている事を発見しました。これは軌道上の塵が太陽の光で温められ赤外線を放出しているからです。しかし、地上からの観測にはもっと短い波長を使用します。太陽の光は軌道上の塵に散乱されるので、我々の目に感じる可視光では、ダストトレイルが太陽に照らされた飛行機雲のように見えるはずですが。

太陽光の散乱で見えるといってもとても薄い光ですから大変難しい観測です。ハワイの山頂は世界最高の観測条件を備えている地点の一つですが、ハワイでの観測もダストトレイルの検出には失敗しました。しかし、シュミット望遠鏡は薄い天体の観測には最適な装置です。宇宙科学研究所の石黒さんは木曾のシュミット望遠鏡なら成功するかも知れないと考えました。今年の 2 月、国立天文台渡部氏のカイパーベルト天体（太陽系の縁にある特異小惑星）の観測に参加した石黒さんは、観測の空き時間を利用してコプフ彗星の軌道位置にシュミット望遠鏡を向けて見ました。ありました！石黒さんの予想は見事に当たり、世界で初めてダストトレイルの可視光観測に成功したのです。図の中央から右上にかすかな筋が伸びているのが見えるでしょうか？これが世界で初めて捉えられたダストトレイルの可視光写真です。

石黒さんを中心に、宇宙科学研究所、東京大学木曾観測所、国立天文台の研究チームはその後にもボン・ウィンネッケ彗星、ガン彗星のダストトレイル撮影に成功しました。その結果、

塵のサイズ、反射率、彗星からの塵放出率などが判明しつつあります。今後ますます多くのダストトレイルの観測が実施され、太陽系科学にあらたな分野が開けると期待しています。



日本の金星探査計画と金星大気のスーパー・ローテーション

松田 佳久（地球惑星科学専攻）

E-mail:matsuda@eps.s.u-tokyo.ac.jp

日本で金星探査衛星を打ち上げ、金星大気のスーパー・ローテーション（超回転）という現象を中心に、金星の気象を詳しく観測しようという計画が進行している。ここでは、金星大気の特徴を説明し、なぜ金星探査計画が持ち上がったのか、説明したい。

金星と地球は質量や半径がほぼ等しいことなどから、双子星と言われてきた。しかし、ロシアやアメリカの探査衛星の観測などから、大気や地表面の様子が分かってくると、地球と金星の大気の違いが浮き彫りにされてきた。

金星大気の特徴の第 1 の特徴は、地表面での気圧が約 92 気圧もあることである。そのほとんどが二酸化炭素からなっている。勿論、地球の表面気圧は 1 気圧であり、大気は主として窒素と酸素からなっており、最近問題となっている二酸化炭素はむしろ微量成分に属している。それに対して、金星には膨大な量の二酸化炭素があるわけである。

第 2 に、金星は地表面温度が約 730K もある。金星は地球よりも太陽に近く、地球よりも多くの太陽エネルギーを浴びているが、それを反射する率が大きいので、実際に吸収する太陽エネルギーは地球よりも小さくなっている。従って、特別なことがなければ、金星の方が地球よりも地表面の温度が低くてもよいはずである。最近、大気中の二酸化炭素の増大に関連して、地球でも温室効果の重要性が議論されているが、金星の地表面温度が非常に高いのは、膨大な量の二酸化炭素によるこの温室効果が極端な形で現れたものと考えられている。二酸化炭素が、地表面の放射する赤外線を吸収して、宇宙空間に赤外線によって熱が逃げないように、地表面の高温を保っている。つまり、二酸化炭素が体をつつむ毛布のよう

な役割をしているのである。

第3に、金星の大気には、高さ45kmから70kmあたりに濃硫酸からなる雲が存在している。散在している地球の雲と異なって、金星の雲は全天をおおっている。そのために、外から金星の雲の中や雲の下が見えなくなっている。

最後に、風の吹き方が、金星と地球では全く異なっている。地球で我々が経験する風は様々である。台風に伴って強風が吹いたり、冬に大陸から寒気が吹き出したりしてくる。しかし、地球を人工衛星で外部から見てみると、中高緯度で西風が吹いているのが、もっとも目立つ。熱帯の地表面付近では東風が吹いている。これらの風の平均速度は、せいぜい30m/s程度である。地球の固体部分は1日に1回転しており、緯度45度で絶対系に対して330m/sの速さで回転している。それから比べると、風速は1割程度である。つまり、1割程度のずれに目をつぶると、地球の大気はほぼ固体部分と共に回転していると言ってよい。

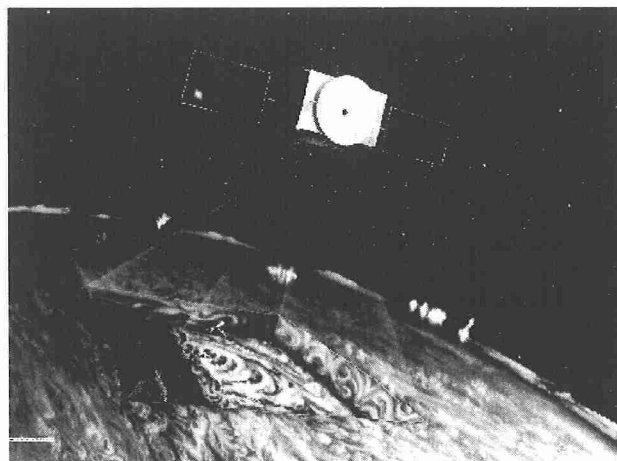
それに対して、金星の固体部分が1回転するには、243(地球)日かかる。つまり、赤道でも、絶対系に対して約1.5m/sの速さで回転しているのに過ぎない。それでは、その金星ではどのような風が吹いているのだろうか？今までの探査衛星による断片的な観測を寄せ集めてみると、どの緯度でもどの経度でも固体部分の回転と同じ方向に、それよりも速く回転していることが分かった。しかも、風速は地表から上に行くに従い、段々速くなり、高さ70kmでは約100m/s、つまり、固体部分の回転の約60倍で回転している。この回転は大気の超回転とかスーパー・ローテーションとか呼ばれており、惑星気象学の大きな謎である。なぜ、大気がかってに固体部分の60倍の速さで回転し、それが維持されているのか、筆者を含めた多くの人の研究にもかかわらず、現在でも分かっていない。

スーパー・ローテーションの原因究明の最大の障害は、金星大気の観測が困難なことである。原因を考える上には、風

速の詳しい分布を知る必要があるが、上に述べたように、金星大気は厚い雲で覆われていて、周回衛星の観測から分かっているのは、雲頂高度(70km位)の風速分布のみである。ところが、近年、近赤外線のいくつかの特別な波長で見ると、雲の中や雲の下が見えることが分かってきた。そこで、そのような近赤外線カメラをいくつか衛星に搭載して、金星の周りを周回して、観測しようという計画が宇宙科学研究所の小山教授を中心に持ち上がった。宇宙開発委員会で高い評価を得て、現在、概算要求の段階である。

さらに、この探査衛星は、金星に雷があるのか、活火山があるのか、といった面白い問題を調べる測器も搭載する予定である。

2008年に打ち上げ、2009年に金星に到達する予定である。到達後は、金星との距離が約300kmから約6万kmの楕円軌道で周回飛行を行い、図に示されているように、観測を行う予定である。大気の運動という気象現象を観測の中心にすえた惑星探査は世界でも初めてであり、成功が期待される所である。



研究ニュースを求めています！

理学系研究科のみなさん、何か面白い研究成果が生まれたとき、是非「研究ニュース」を書いてください。

特に、大学に入ったばかりの学生や、意欲のある高校生にもわかるような内容を歓迎します。いただいた原稿は、すぐに理学系研究科のホームページ(<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/index-ja.html>)にて紹介され、その後、本ニュースに掲載されます。ホームページ上ではカラーの図表も歓迎します。また、詳細な研究内容が紹介されている、他のページへのリンクなども可能です。

号末の広報誌担当委員、各専攻の広報委員もしくは、理学系研究科・理学部ホームページ担当者(webstaff@adm.s.u-tokyo.ac.jp)にコンタクトを取ってください。